

traduzindo

Os volumes da coleção Traduzindo: textos filosóficos na sala de aula são destinados às aulas de filosofia no ensino médio. Os textos que integram a coleção são, em sua maioria, retirados do trabalho desenvolvido nas Oficinas de Tradução, uma iniciativa de coordenação da graduação em filosofia da UFPA apoiada pelo CELIN, REUNI, PRAE e CAPES, através do E-BUD. Integram as oficinas estudantes de graduação e de pós-graduação e professores do ensino médio de graduação, ensino Superior. Os textos trabalhados nas Oficinas são cuidadosamente selecionados pela sua viabilidade como material didático de apoio para as aulas de filosofia no ensino médio. Na maioria, restringem-se ao período da publicação dos textos. Alguns textos ou da orientação doutrinária a qual ele se afilia, ou de exigências que há de se cumprir, por assim dizer, uma aula de filosofia por si só, e de cada texto escolhido.

Thomas S. Kuhn

# A Função do Dogma na Investigação Científica

PIBID  
ufpa

UFPA



## A função do dogma na investigação científica

Estou certo de que cada um dos participantes deste simpósio se expôs, a dada altura de sua carreira, à ideia do cientista como o investigador sem preconceitos em busca da verdade; o explorador da natureza – o homem que rejeita preconceitos quando entra no laboratório, que coleciona e examina os fatos crus, objetivos, e que é fiel a tais fatos e só a eles. Estas são as características que fazem do testemunho dos cientistas um valioso elemento na propaganda de produtos variados e em exclusivo nos Estados Unidos. Mesmo perante uma audiência internacional não é preciso esclarecer mais. Ser científico é, entre outras coisas, ser objetivo e ter espírito aberto.

Provavelmente nenhum de nós acredita que o cientista da vida real na prática consegue preencher tal ideal. A experiência pessoal, os romances de Sir Charles Snow ou o estudo da história da ciência fornecem numerosas contra-evidências. Embora a atividade científica possa ter um espírito aberto – qualquer que seja o sentido que esta frase possa ter – o cientista individual muito frequentemente não o tem. Quer o seu trabalho seja predominantemente teórico, quer seja experimental, o cientista normalmente parece conhecer, antes do projeto de investigação estar razoavelmente avançado, pormenores dos resultados que serão alcançados com tal projeto. Se o resultado aparece rapidamente, ótimo. Se não, ele lutará com os seus instrumentos e com as suas equações até que, se for possível, forneçam-lhe os resultados que estejam conformes com o modelo que ele tinha previsto desde o começo. Não é só com o seu trabalho de investigação que o cientista mostra a sua firme convicção sobre os fenômenos que a natureza pode produzir e sobre as maneiras as quais eles podem se encaixar com a teoria. Com frequência, as mesmas convicções evidenciam-se mais claramente ainda nas suas réplicas ao trabalho de outros cientistas. Desde a recepção de Galileu

ao trabalho de Kepler, à recepção de Nägeli ao trabalho de Mendel, à rejeição dos trabalhos de Gay Lussac por Dalton, à rejeição de Maxwell por Kelvin, as novidades inesperadas nos fatos e nas teorias têm, o que é significativo, encontrado resistências e com frequência têm sido rejeitadas por muitos membros, dos mais criativos, da comunidade profissional científica. O historiador, pelo menos este, raramente precisa de Planck para lembrar-lhe que: "Uma verdade científica nova não é geralmente apresentada de maneira a convencer os que se opõem a ela... simplesmente e pouco a pouco eles morrem, e nova geração que se forma familiariza-se com a verdade desde o princípio".

Fatos familiares como estes, e eles poderiam facilmente ser multiplicados – não parecem ser reveladores de uma atividade cujos praticantes sejam pessoas de espírito especialmente aberto. Poderão esses fatos serem reconciliados à nossa imagem habitual da investigação científica produtiva? Se, no passado, tal reconciliação não parecia apresentar problemas fundamentais, isso se devia, provavelmente, ao fato de que tais resistências e preconceitos eram geralmente considerados como elementos estranhos à ciência. Esses fatos seriam – é o que nos têm ensinado muitas vezes – não mais do que o produto das inevitáveis limitações humanas; em um verdadeiro método científico não há lugar para tal; e esse método é de tal modo poderoso que a mera idiosincrasia humana não pode por muito tempo impedir o seu êxito. Com essa maneira de ver, os exemplos de *parti pris* científicos são reduzidos ao estatuto de anedotas e justamente com este ensaio tenta-se atacar tal ponto de vista. A verossimilhança, por si só, sugere que se imponha um ataque desse tipo. Preconceito e resistência parecem ser mais a regra do que exceção no desenvolvimento científico avançado. Além disso, em condições normais eles caracterizam a melhor investigação, a mais criativa e também a mais rotineira. Não está também em questão qual a sua origem. Não se tratam de características anômalas de indivíduos, mas de características da comunidade com raízes profundas no processo como os cientistas são treinados para trabalhar na sua profissão. As fortes convicções que existem antes da própria investigação frequentemente aparecem como precondições para o sucesso das ciências.

É claro que estou a adiantar-me demais na minha história, mas com isso fiz destacar o meu tema principal. Embora o preconceito e a resistência às inovações possam muito facilmente pôr um freio ao progresso científico, a sua onipresença é, porém, sintomática como característica requerida para que a investigação tenha continuidade e vitalidade. Características desse tipo, tomadas coletivamente, eu classifico como o dogmatismo das ciências maduras, e nas páginas que se seguem tentarei precisar alguns dos seus aspectos. A educação científica "semeia" o que a comunidade científica, com dificuldade, alcançou até aí – uma adesão profunda a uma maneira particular de ver o mundo e praticar a ciência. Tal adesão pode ser, e é, de tempos em tempos, substituída por outra, mas nunca pode ser facilmente abandonada. E, enquanto característica da comunidade dos praticantes profissionais, tal adesão mostra-se fundamental, em dois aspectos, para a investigação produtiva. Definindo para cada cientista individual os problemas suscetíveis a serem analisados e ao mesmo tempo a natureza das soluções aceitáveis para eles, a adesão é de fato um elemento necessário à investigação. Normalmente o cientista é um solucionador de quebra-cabeças como um jogador de xadrez, e a adesão induzida pela educação é o que lhe dá as regras do jogo que se pratica no seu tempo. Na ausência delas, ele não seria um físico, um químico ou o que quer que fosse aquilo para que fosse preparado.

Além do mais, essa adesão tem um segundo papel na investigação que é algo incompatível com o primeiro. A força que ela tem e a unanimidade com que é partilhada pelo grupo profissional fornecem ao cientista individual um detector imensamente sensível dos focos de dificuldades de onde surgem inevitavelmente as inovações importantes nos fatos e nas teorias. Nas ciências, a maior parte das descobertas de fatos inesperados e todas as inovações fundamentais da teoria são respostas a um fracasso prévio usando as regras do jogo estabelecido. Portanto, embora uma adesão quase dogmática seja, por um lado, uma fonte de resistência e controvérsia, é também um instrumento inestimável que faz das ciências a atividade humana mais consistentemente revolucionária. Uma pessoa não precisa

fazer da resistência ou do dogma uma virtude para reconhecer que as ciências maduras não poderiam viver sem eles.

Antes de continuar a examinar a natureza e as consequências do dogma científico, vejamos o esquema de educação através do qual ele é transmitido por uma geração de profissionais à seguinte. Os cientistas não formam, está claro, a única comunidade profissional que adquire pela educação um conjunto de padrões, instrumentos e técnicas que mais tarde usam no seu próprio trabalho criativo. Porém uma vista rápida que seja da pedagogia científica sugere que ela pode induzir uma rigidez profissional praticamente impossível de alcançar noutros campos, exceto talvez na teologia. Admito que essa exposição esteja deformada pelo esquema americano que é o que conheço melhor. Os contrastes que tenho em vista, porém, devem ser visíveis igualmente nas devidas proporções na educação europeia e britânica.

22

Talvez, a característica mais extraordinária da educação científica, que é levada a um ponto desconhecido noutros campos de atividade criativa, seja a de ser feita por meio de manuais, obras escritas especialmente para estudantes. Até que ele esteja preparado, ou quase preparado para fazer a sua dissertação, o estudante de química, física, astronomia, geologia, ou biologia, raramente é posto ante o problema de conduzir um projeto de investigação, ou colocado ante os produtos diretos da investigação conduzida por outros – isto é, as comunicações profissionais que os cientistas escrevem para os seus colegas. As coleções de "textos originais" jogam um papel limitado na educação científica. Igualmente o estudante de ciência não é encorajado a ler os clássicos da história do seu campo – obras onde poderia encontrar outras maneiras de olhar as questões discutidas nos textos, mas onde também poderia encontrar problemas, conceitos e soluções padronizados que a sua futura profissão há muito pôs de lado e substituiu. Whitehead apanhou esse aspecto bastante específico das ciências quando algures escreveu: "Uma ciência que hesita em esquecer os seus fundadores está perdida."

Ser baseada quase exclusivamente em manuais não é tudo o que diferencia a educação científica. Os estudantes de outras áreas são, ao fim e ao cabo, também expostos à ação de tais livros, embora raramente depois do segundo ano de universidade, e mesmo nos primeiros anos, não de uma forma tão exclusiva. Mas, enquanto que, nas ciências, se há manuais diferentes é porque expõem assuntos diferentes, nas humanidades e em várias ciências sociais, há manuais que apresentam diferentes tratamentos para uma mesma problemática. Mesmo livros que estão em concorrência para ser adotados em um mesmo curso científico diferem, sobretudo, só no nível de apresentação e nos pormenores pedagógicos e não no conteúdo ou no conjunto das ideias. É com dificuldade que se pode imaginar um físico ou um químico afirmar que foi obrigado a começar a educação dos seus alunos de terceiro ano quase a partir de primeiros princípios porque a exposição prévia do assunto a que eles tinham sido submetidos se fizera por livros que violavam consistentemente a ideia que ele tinha da disciplina. Observações desse tipo não são, pelo contrário, pouco usuais em várias ciências sociais. Aparentemente os cientistas estão de acordo sobre o que é que cada estudante deve saber da matéria. Essa é a razão que explica por que, na preparação de um currículo pré-profissional, eles podem usar manuais em vez de uma combinação eclética de originais de investigação.

Igualmente a técnica de apresentação dos assuntos, característica dos manuais científicos, não é a mesma que nos outros campos. Exceto nas introduções ocasionais, que os estudantes raramente leem, os leigos não fazem grande esforço para descrever o tipo de problemas que o profissional será chamado a resolver ou discutir, a diversidade de técnicas que a experiência pôs à disposição para a sua resolução. Pelo contrário, esses livros apresentam, desde o começo, soluções concretas de problemas que a profissão aceita como paradigmas, e então pede-se aos estudantes, quer usando um lápis e papel quer servindo-se de um laboratório, que resolvam por si mesmos problemas modelados à semelhança, na substância

e no método, dos que o livro lhes deu a conhecer. Só na instrução elementar de línguas ou no treino de um instrumento musical é tão importante e essencial a prática de "exercícios de dedo". E estes são justamente os campos em que o objeto da instrução é produzir com o máximo de rapidez "quadros mentais" fortes ou *Einstellungen*. Sugiro que nas ciências o efeito dessas técnicas é exatamente o mesmo. Embora o desenvolvimento científico seja particularmente produtivo em novidades que se sucedem, a educação científica continua a ser uma iniciação relativamente dogmática a uma tradição preestabelecida de resolver problemas, para a qual o estudante não é convidado e não está preparado para apreciar.

O esquema de educação sistemática dos manuais que acabamos de descrever não existia em nenhuma parte e em nenhuma ciência (exceto talvez na matemática elementar) até o começo do séc. XIX. Mas, antes dessa época, certo número de ciências mais desenvolvidas claramente já evidenciavam, em certos casos desde há já bastante tempo, as características especiais indicadas acima. Onde não existiam manuais, havia com frequência paradigmas universais aceitos para a prática das várias ciências. Eram constituídos pelos feitos científicos descritos em livros que todos os praticantes em um dado campo conheciam intimamente e admiravam, feitos que davam os modelos para as suas próprias investigações e os padrões para avaliar os seus próprios resultados. A *Física* de Aristóteles, o *Almagesto* de Ptolomeu, os *Principia* e a *Óptica* de Newton, a *Elettricidade* de Franklin, a *Química* de Lavoisier e a *Geologia* de Lyell – estas obras e muitas outras foram todas utilizadas implicitamente, durante algum tempo, para definir os problemas legítimos e os métodos de investigação para sucessivas gerações de praticantes. No seu tempo cada um desses livros, juntamente com outros escritos segundo o modelo iniciado por eles, teve no seu domínio mais ou menos a mesma função que têm hoje os manuais de uma ciência.

Todas as obras indicadas acima são, como é sabido, clássicos da ciência. Assim sendo, poder-se-ia pensar que elas se assemelham aos grandes clássicos



em outros campos criativos, um Rembrandt, ou um Adam Smith. Tratando essas obras, ou os feitos que estão por trás delas, como paradigmas em vez de clássicos, quero sugerir que há algo especial nelas, algo que as coloca à parte tanto dos outros clássicos da ciência como de todos os clássicos de outros domínios de criação.

Parte desse "algo especial" é o que denominarei a exclusividade dos paradigmas. Em qualquer época os praticantes de uma dada especialidade poderão reconhecer numerosos clássicos, alguns dos quais – tal como acontece com as obras de Ptolomeu e Copérnico ou Newton e Descartes – praticamente incompatíveis entre si. Mas um dado grupo, se tem mesmo um paradigma, só pode ter um. Ao contrário da comunidade dos artistas – que se pode inspirar simultaneamente nas obras de, por exemplo, Rembrandt e Cézanne e que, portanto, estuda um e outro – a comunidade dos astrônomos não tinha alternativa senão escolher entre os modelos em competição fornecidos por Copérnico e Ptolomeu. Além disso, uma vez feita a escolha, os astrônomos passavam a esquecer a obra que tinham rejeitado. Desde o séc. XVI só houve duas edições completas do *Almagesto*, ambas produzidas no séc. XIX e dirigidas exclusivamente aos acadêmicos. Nas ciências maduras parece não existir uma função equivalente à de um museu de arte ou uma biblioteca de clássicos. Os cientistas sabem quando é que os livros, e mesmo os jornais científicos, estão ultrapassados. Embora não os destruam, eles os transferem, como qualquer historiador da ciência pode testemunhar, das bibliotecas ativas da especialidade para o nunca usado depósito geral da universidade. As obras atualizadas que vieram tomar o seu lugar são tudo o que o progresso da ciência exige.

Essa característica dos paradigmas está estreitamente ligada a outra, que tem particular importância na minha utilização do termo. Ao aceitar um paradigma, a comunidade científica adere como um todo, conscientemente ou não, à atitude de considerar que todos os problemas resolvidos, o foram de fato, de uma vez para sempre. Tal é o que Lagrange tinha em vista quando dizia de Newton: "Não há senão um Universo e não pode haver senão um homem na história universal

para interpretar as suas leis". Os exemplos, quer de Aristóteles, quer de Einstein, provam que Lagrange estava errado, mas tal não altera a importância que teve a sua convicção para o desenvolvimento da ciência. Acreditando que o que Newton fizera não precisava ser refeito, Lagrange não se deixava atrair por novas reinterpretações fundamentais da natureza. Pelo contrário, ele poderia começar onde os homens que partilhavam o mesmo paradigma newtoniano tinham ficado, esforçando-se uns e outros por chegar a uma formulação mais clara do paradigma e a uma estruturação que o aproximasse cada vez mais das observações da natureza. Esse tipo de trabalho só pode ser feito por pessoas que sentem que o modelo que usam é inteiramente seguro. Não há nada que se assemelhe nas artes, e os paralelos nas ciências sociais são, no melhor dos casos, parciais. Os paradigmas determinam todo um esquema de desenvolvimento para as ciências maduras que não se assemelha ao esquema usual noutros domínios.

Tal diferença poderia ser ilustrada comparando-se o desenvolvimento de uma ciência baseada em paradigma com, por exemplo, a filosofia ou a literatura. O mesmo objetivo pode, porém, ser alcançado de maneira mais econômica, contrastando-se o esquema de desenvolvimento inicial de qualquer ciência com o esquema característico da mesma ciência quando já na maturidade. Não consigo deixar de pôr a questão demasiado esquemática, mas o que tenho em vista é isto. Exceto em domínios como a bioquímica, com origem na combinação de especialidades já existentes, os paradigmas são uma aquisição a que se chega relativamente tarde no processo de desenvolvimento científico. Durante os seus primeiros anos uma ciência trabalha sem recurso a eles, pelo menos não de forma tão inequívoca e limitadora como nos casos referidos atrás. A ótica física antes de Newton ou o estudo do calor antes de Black e Lavoisier são exemplos de esquemas de desenvolvimento pré-paradigmáticos como o que examinei adiante com a história da eletricidade. Enquanto esse desenvolvimento continua, isto é, até que se chegue a um primeiro paradigma, o desenvolvimento de uma ciência aproxima-se mais do desenvolvimento das artes e da maior parte das ciências

sociais do que do esquema que a astronomia, por exemplo, tinha já adquirido na antiguidade e que hoje é comum a todas as ciências.

Para perceber a diferença entre desenvolvimento científico pré e pós-paradigmático, consideremos um exemplo simples. No começo do séc. XVIII, como no séc. XVII e antes dele, havia quase tantos pontos de vista sobre a natureza da eletricidade como o número de experimentadores importantes, homens como Hauksbee, Gray, Desaguliers, Du Fay, Nollet, Watson e Franklin. Todos os diversos conceitos que eles possuíam sobre a eletricidade tinham algo em comum – eram em parte derivados das experiências e observações e em parte de uma ou outra versão da filosofia mecânico-corpúscular que orientava toda a investigação científica da época. Contudo, esses elementos comuns davam aos seus trabalhos só uma vaga semelhança. Somos forçados a admitir a existência de várias escolas e subescolas em competição, cada uma retirando força de sua ligação com uma versão particular (cartesiana ou newtoniana) da metafísica corpúscular, e cada uma dando relevo especial ao conjunto de fenômenos elétricos mais facilmente explicado por ela. As outras observações eram explicadas usando construções *ad hoc* ou eram deixadas como problemas importantes para investigação futura.

O corpúscularismo dos filósofos do séc. XVII, representados aqui por Descartes e Newton, teve origem no atomismo dos antigos filósofos gregos, Demócrito, Epicuro e Lucrecio. Os atomistas antigos consideravam que todos os acontecimentos na natureza eram resultados de combinações e interações entre partes mínimas, invisíveis e indivisíveis da matéria – que eles justamente chamaram de *átomos* – dispersas num imenso vazio. Um dos primeiros filósofos modernos a contestar esse tipo de explicação foi Descartes, para quem os fenômenos tais como a gravidade, a propagação da luz e o magnetismo, entre outros, deveriam sim ser considerados efeitos dos movimentos e dos choques entre corpúsculos. Isto é, partes muito pequenas e invisíveis da matéria bruta. Os corpúsculos de Descartes, no entanto, distinguíam-se dos átomos dos filósofos antigos por serem definidos como partes muito pequenas mas, mesmo assim, divisíveis da matéria. Descar-

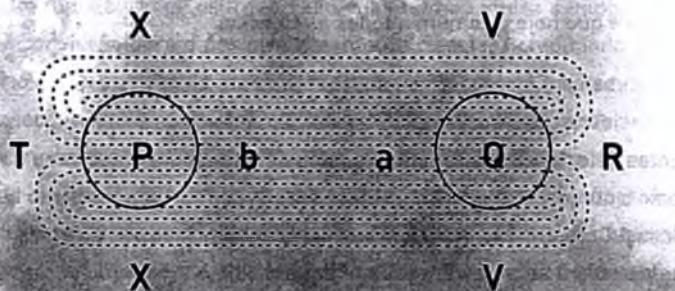


Figure 1

tes defendia que a matéria seria indefinidamente divisível. Desse forma, o corpuscularismo cartesiano não pressupunha que houvesse o vazio – algo que Descartes julgara ser impossível, visto ser necessário haver matéria em toda e qualquer porção do espaço. Descartes explicou, por exemplo, o magnetismo em termos da ação de um fluido invisível existente por toda parte e constituído de corpúsculos em constante movimento. Segundo essa hipótese, um ímã é uma espécie particular de matéria polada de poros e canais através dos quais passam aqueles corpúsculos. O fato de cada extremidade do ímã agir diferentemente – atraindo ou repelindo – explica-se mediante a suposição adicional de que as paredes internas dos dutos no interior do ímã são dotadas de dentes ou cátraras que permitem o fluxo do fluido magnético num único sentido e, ao mesmo tempo, impedem-no no sentido oposto. Na figura 1, P e Q representam dois ímãs, e a e b representam, respectivamente, o polo sul (esquerda) e o polo norte (direita) de cada um deles. O fato do polo sul de P posicionar-se do mesmo lado que o polo norte de Q explica por que os ímãs se atraem. Se ocorresse o contrário, isto é, digamos o polo sul de P posicionar-se do mesmo lado que o polo sul de Q, ambos se repeliriam. O fluido magnético move-se em turbilhões ou redemoinhos que se formam em torno dos ímãs. Quando percorrem linearmente o intervalo entre P e Q, os corpúsculos magnéticos movem-se no sentido TR. Quando estão fora desse intervalo, eles são defletidos em R, V, X e T pelo ar circundante, cujos poros resistem a esses corpúsculos. Newton foi o mais importante contemporâneo

de Descartes a divergir do seu corpuscularismo. Newton defendeu a necessidade de haver o vazio proposto pelos antigos atomistas, vazio esse que ele rebatizou com o nome de *espaço absoluto*. Ele, entretanto, não adotou todas as teses atomistas. Um de seus principais pressupostos metafísicos o distanciava igualmente tanto do atomismo antigo quanto do corpuscularismo cartesiano. Newton não aceitava que todos os acontecimentos na natureza pudessem se reduzir a efeitos das simples propriedades da matéria inerte. Para ele, além de corpúsculos em movimento e em interação, a natureza deveria também ser dotada de certos princípios ativos que ele chamou de *forças da natureza* e considerou-as responsáveis pela geração e pela manutenção dos movimentos e todos os demais fenômenos naturais. A gravitação universal, que constitui a base da teoria pela qual Newton tornou-se conhecido e reverenciado em todo o mundo, é um dos principais exemplos de uma força da natureza admitida pelo corpuscularismo newtoniano. *(Leia mais na página 61)*

Um dos primeiros grupos de teóricos da eletricidade seguia a prática usual do séc. XVII, e tomava, portanto, a atração e geração de eletricidade por fricção como os fenômenos elétricos fundamentais. Tinham tendência a considerar a repulsão como um efeito secundário (no séc. XVII ela era explicada por uma espécie de efeito de ressalto mecânico) e a adiar tanto quanto possível a discussão e a investigação sistemática sobre o efeito de Gray, que se acabara então de descobrir, a condução elétrica. Outro grupo estreitamente ligado a este considerava a repulsão como o efeito fundamental, enquanto outro ainda tomava ao mesmo tempo a repulsão e a atração como manifestações elementares da eletricidade. Cada um destes últimos grupos alterava a sua teoria e a sua investigação da maneira que lhe convinha, mas acabava por ter tanta dificuldade como o primeiro, para explicar o mais elementar dos efeitos de condução. Esses efeitos serviam de ponto de partida para um terceiro grupo, que tinha tendência a falar da eletricidade como um "fluido", percorrendo os condutores e não como um "eflúvio" emanado dos corpos não-condutores. Esse grupo, por sua vez, tinha dificuldade em reconciliar a sua teoria com um número razoável de efeitos de atração e repulsão.

Seriam, então, nas contas de Kuhn, três grupos, sendo que o primeiro comportaria ainda uma subdivisão interna, convertendo-se em dois. Os três grupos têm em comum o fato de que procuram explicar a eletricidade sem se desviar da filosofia mecânico-corpúscular, quer na versão cartesiana quer na versão newtoniana. Falaremos agora dos dois (ou três) primeiros grupos, deixando o último para a próxima nota. Esses primeiros grupos adotaram como fenômenos básicos para explicação da eletricidade ora a atração ora a repulsão ora, ainda, ambos, todos efeitos daquilo que hoje chamamos de eletricidade estática, que, por sua vez, é o resultado do acúmulo de carga elétrica em um material qualquer. Du Fay foi um dos principais representantes desse modo de compreender a natureza da eletricidade. No trabalho publicado em 1735, Du Fay distinguiu entre dois tipos de eletricidade: aquela que resulta de esfregar (ã) numa peça de vidro (eletricidade vítrea) e aquela que resulta de esfregar (ã) numa peça de âmbar (eletricidade betuminosa). Ele observou que corpos que possuem eletricidade vítrea repelem corpos que possuem a mesma eletricidade e atraem corpos que possuem eletricidade betuminosa. O mesmo ocorre no caso contrário. Assim, uma folha de ouro, que ao se aproximar de um bastão de vidro adquire eletricidade vítrea, ao ser novamente aproximada do mesmo bastão será prontamente repelida por ele. O principal continuador das ideias de Du Fay foi Nollet, que numa publicação de 1749 escreveu: "quando um [corpo] elétrico é excitado por fricção, parte desse líquido escapa por seus poros, formando um fluxo efluente, e essa perda é reparada por um fluxo afluente do mesmo fluido que, vindo de fora, penetra o corpo." Na figura 1, reproduzida do livro de Nollet, a sensação de cócegas que se sente nas mãos ao aproximá-las de um copo eletrizado é ilustrada como um efeito direto do fluido efluente.



Figura 1

Em épocas diferentes, cada uma dessas escolas trouxe contribuições significativas para o corpo de conceitos, fenômenos e técnicas de onde Franklin extraiu o primeiro paradigma para as ciências elétricas. Uma definição de cientista que exclua os membros dessas escolas, deverá excluir igualmente os seus sucessores modernos. Contudo, alguém que se debruce sobre o desenvolvimento da eletricidade antes de Franklin pode muito bem tirar a conclusão de que, embora os praticantes do ofício fossem cientistas, o resultado imediato da sua atividade era algo menos do que ciência. Cada experimentador em eletricidade era forçado a construir o seu domínio de novo a partir da base, uma vez que o conjunto de convicções que ele podia tomar como certas era muito limitado. Ao fazer isso, a sua escolha de experiências e observações fundamentais era relativamente livre, porque o conjunto de métodos, padrão e fenômenos que cada teórico da eletricidade podia utilizar e explicar era extraordinariamente reduzido. Como consequência, durante a primeira metade do século, as investigações em eletricidade tendiam a andar em círculo, voltando sempre ao mesmo ponto. Novos efeitos eram descobertos repetidas vezes, mas muitos deles perdiam-se rapidamente de novo. Entre os que se perderam, havia muitos efeitos causados pelo que hoje se chama a carga induzida e também a famosa descoberta de Du Fay dos dois tipos de eletricidade. Franklin e Kinnerley ficaram surpreendidos quando, cerca de quinze anos depois, o segundo descobriu que uma esfera carregada que fosse repelida pelo vidro friccionado era atraída pelo lacre ou pelo âmbar.

Na ausência de uma teoria bem articulada e amplamente aceita (uma propriedade que nenhuma ciência possui de início e que poucas das ciências sociais, se é que alguma, possuem atualmente), a situação só muito dificilmente poderia ter sido diferente. Para os teóricos da eletricidade, durante a primeira metade do séc. XVIII não havia maneira de distinguir consistentemente entre efeitos elétricos e não-elétricos, entre acidentes de laboratório e novidades essenciais, ou entre exibições brilhantes e experiências que revelassem aspectos essenciais da natureza da eletricidade.

Esta é a situação que Franklin mudou. A sua teoria explicava tantos – embora não todos – efeitos elétricos reconhecidos pelas várias escolas anteriores que no período de uma geração todos os teóricos da eletricidade foram convertidos a maneiras de ver quase idênticas. Embora não pusesse fim a todos os desacordos, a teoria de Franklin constituiu o primeiro paradigma da eletricidade e a experiência dele dá um tom e um sabor novo às investigações em eletricidade nas últimas décadas do séc. XVIII. O fim dos debates inter-escolas pôs fim à constante reavaliação dos fundamentos; a convicção de estarem a seguir o caminho correto dava coragem aos teóricos da eletricidade para se lançarem em trabalhos de maior envergadura, mais exatos e esotéricos. Liberto das preocupações gerais levantadas com os fenômenos elétricos, o novo grupo agora unido podia orientar-se para fenômenos elétricos selecionados e estudá-los com muito mais pormenor, concebendo aparelhagem especializada para seu trabalho e utilizando-a com uma persistência e um grau de sistematização desconhecidas dos anteriores teóricos da eletricidade. Nas mãos de um Cavendish, de um Coulomb ou de um Volta, a verificação dos fenômenos elétricos e a articulação da teoria da eletricidade tornaram-se, pela primeira vez, atividades altamente orientadas. Como consequência, a eficiência e a eficácia da investigação em eletricidade aumentaram extraordinariamente, comprovando ao nível social o preceito metodológico de Francis Bacon: “A verdade emerge mais rapidamente a partir do erro do que da confusão.”

Franklin pertence ao último grupo acima identificado por Kuhn – o único que não compartilha a preocupação dos demais com a decisão sobre qual deveria ser o fenômeno básico na explicação da eletricidade: ou a atração ou a repulsão (ou ambos). Esse grupo, segundo Kuhn, tendia a tratar a eletricidade como um “fluido” percorrendo os corpos condutores e não como um “efluvío” emanado dos corpos não condutores. Conforme vimos na nota anterior, Nollet dividia a eletricidade em dois tipos de fluxos: efluente e afluente, responsáveis, respectivamente, pela repulsão e pela atração exercida pelos corpos eletrizados. Franklin discordava desse enfoque. Onde seus contemporâneos viravam a



excitação de um fluido, Franklin enxergava a sua simples redistribuição. Ele propôs que tanto a atração quanto a repulsão fossem considerados efeitos da concentração do mesmo "fluido elétrico". O ponto de partida de Franklin foi admitir que quando, por exemplo, lã e vidro são friccionados, a eletricidade não é criada, mas transferida de um objeto ao outro. Isso pressupõe que todos os corpos possuem alguma forma de eletricidade. Com esse pressuposto, o próximo passo foi assinalar o símbolo "+" para o ganho e o seu contrário "-" para a perda da eletricidade - isto é, do fluido elétrico. Finalmente, Franklin concluiu que a eletricidade deveria ser considerada "um fluido elástico consistindo de partículas extremamente sutis", que poderia penetrar a matéria comum, mesmo os metais mais densos, com grande facilidade e liberdade. Foi essa concepção do "fluido elétrico" que Franklin empregou para explicar o famoso experimento conhecido como Garrafa de Leyden. Numa famosa experiência ilustrada na figura 1, a garrafa é colocada sobre a cera isolante (d). Coloca-se duas hastes condutoras, uma mergulhada na água que preenche a garrafa e outra ligada à estrutura de metal externa, e as extremidades de ambas são cobertas por duas bolas de cortiça pequenas (e). Quando a água está eletrificada, um pequeno pedaço de cortiça (f) suspenso por um fio de seda isolante oscilará continuamente de



Figura 1

uma bola a outra, até que a garrafa não esteja mais eletrificada. Franklin explicava esse estado final como o efeito do transporte do fluido elétrico acumulado no interior da garrafa para a sua parte externa. A consequência disso é que o vidro se mostra impenetrável ao fluido elétrico. Franklin verificara, entretanto, que o vidro não suspende a atração que um corpo eletrificado exerce sobre um outro corpo não-eletrificado. Isso poderia ser mostrado na própria Garrafa de Leyden, onde o excesso de eletricidade do lado de dentro da garrafa provoca uma ação repelente que atravessa o vidro da garrafa, e é a responsável pela deficiência de eletricidade verificada do lado de fora da garrafa. A atração e a repulsão observadas entre os corpos com maior e menor carga elétrica nos

obrigariam, portanto, a aceitar que a eletricidade possa agir a distância através do ar, sem ser "transportada" por nenhum meio material, tal como um fluido. *(Leia mais na página 62)*

Está claro que estou exagerando tanto a rapidez como o grau de acabamento com que se faz a transição para um paradigma. Mas isso não torna o próprio acontecimento menos real. O amadurecimento da eletricidade como ciência não acompanha o desenvolvimento geral da eletricidade. Os estudiosos sobre eletricidade durante as primeiras quatro décadas do séc. XVIII possuíam bastante mais informação acerca dos fenômenos elétricos do que os seus antecessores dos séc. XVI e XVII. Durante o meio século depois de 1745, muito poucos fenômenos elétricos se vieram acrescentar à lista dos já existentes. Porém, nos aspectos importantes os textos sobre eletricidade das últimas duas décadas do século pareciam mais distantes de Gray, Du Fay e mesmo de Franklin do que estavam essas teorias da eletricidade do começo do séc. XVIII dos seus antecessores de há mais de cem anos. Durante o período de 1740 a 1780, os teóricos da eletricidade, como um grupo, alcançaram o que os astrônomos tinham conseguido na antiguidade, os estudiosos da mecânica na Idade Média, os da ótica física no fim do séc. XVII e os da geologia histórica no começo do séc. XIX. Tinham chegado a um paradigma, e a posse deste permitia-lhes tomar os fundamentos do seu campo de atividade como bem estabelecidos e enveredar para problemas mais concretos e mais complexos. É difícil conceber outro critério que estabeleça tão claramente o campo de atividade de uma ciência.

Essas observações devem já começar a esclarecer o que considero ser um paradigma. É, em primeiro lugar, um resultado científico fundamental que inclui ao mesmo tempo uma teoria e algumas aplicações exemplares aos resultados das experiências e da observação. Mais importante ainda, é um resultado cujo completar está em aberto e que deixa toda espécie de investigação ainda por ser

feita. E, por fim, é um resultado aceito no sentido de que é recebido por um grupo cujos membros deixam de tentar ser seu rival ou deixam de criar-lhe alternativas. Pelo contrário, tentam desenvolvê-lo e explorá-lo numa variedade de formas a que voltarei a seguir. A discussão do trabalho que os paradigmas deixam para ser feito tornará ainda mais claro tanto o seu papel como os motivos para a sua especial eficácia. Antes, porém, é preciso frisar um aspecto bastante importante. Embora o acolher de um paradigma pareça historicamente uma precondição para investigação científica mais eficaz, os paradigmas que aumentam a eficácia da investigação não necessitam ser, e geralmente não são, permanentes. Pelo contrário, no esquema de desenvolvimento das ciências maduras vai-se passando, em regra, de um paradigma para outro. Esse esquema diferencia-se do esquema característico dos períodos de começo ou de pré-paradigma não por causa da eliminação total do debate em torno dos fundamentos, mas pela restrição drástica de tal debate, aos períodos ocasionais de mudança de paradigma.

O *Almagesto* de Ptolomeu, por exemplo, não deixa de ser um paradigma pelo fato da tradição de investigação que partia dele acabar por ser substituída por outra incompatível baseada nos trabalhos de Copérnico e Kepler. Nem mesmo a *Óptica* de Newton deixou de ser um paradigma para os estudantes dos fenômenos da luz no séc. XVIII, por ter sido depois substituída pela teoria ondulatória do éter de Young e Fresnel, um paradigma que por sua vez cedeu lugar à teoria do deslocamento eletromagnético que se constitui a partir de Maxwell. Não há dúvida de que o trabalho de investigação que um dado paradigma permite torna-se uma contribuição duradoura para o corpo do conhecimento científico e técnico, mas os paradigmas eles próprios são com frequência postos de lado e substituídos por outros bastante incompatíveis com eles. Não podemos recorrer a noções como "verdade" ou "validade" a propósito dos paradigmas na tentativa de compreender a especial eficácia da investigação que a sua aceitação permite.

Pelo contrário, o historiador com frequência tem de reconhecer que, com a rejeição da perspectiva proposta por dada escola pré-paradigmática, uma comunidade científica rejeitou o embrião de uma importante ideia científica a que seria forçada a voltar mais tarde. Mas está longe de ser óbvio que a profissão atrasou o desenvolvimento científico com esse procedimento. Teria a mecânica quântica nascido antes, se os cientistas do séc. XIX mais facilmente estivessem prontos a admitir que a visão corpuscular da luz de Newton poderia ainda ter algo de significativo a ensinar-lhes sobre a natureza? Penso que não, embora nas artes, nas humanidades, e em várias ciências sociais tal visão menos doutrinária é adotada com frequência em relação aos efeitos clássicos do passado. Ou teriam a astronomia e a dinâmica avançado mais depressa se os cientistas tivessem reconhecido que tanto Ptolomeu como Copérnico tinham escolhido processos igualmente legítimos para descrever a posição da Terra? Tal posição foi, de fato, sugerida durante o séc. XVII e foi depois confirmada pela teoria da relatividade. Mas até lá ela foi, juntamente com a astronomia de Ptolomeu, vigorosamente rejeitada, vindo à tona de novo só no fim do séc. XIX quando, pela primeira vez, se relacionava concretamente aos problemas insolúveis postos pela prática usual da física não-relativista. Poder-se-á argumentar, e é isso que farei realmente, que uma atenção demorada durante os séc. XVIII e XIX, quer para as obras de Ptolomeu, quer para as posições relativistas de Descartes, Huygens e Leibniz, teria atrasado em vez de acelerar a revolução na física com que começou o séc. XX. O avançar de paradigma em paradigma, em vez do perpetuar uma concorrência entre clássicos reconhecidos, deve ser uma característica funcional e um fato inerente ao desenvolvimento científico maduro.

Quando o padre e astrônomo Nicolau Copérnico publicou em 1543 sua teoria para o sistema planetário posicionando o Sol no centro desse sistema, ele não poderia prever a controvérsia que se arrastaria durante praticamente todo o século seguinte. A teoria de Copérnico estava em conflito com a concepção então dominante, amplamente inspirada nas ideias de Ptolomeu, que

Universo Geostático  
de Aristóteles - Ptolomeu

Universo Heliostático  
de Copérnico - Galileu - Kepler



Figura 1

posiciona a Terra no centro do sistema com os demais corpos – inclusive o Sol – girando em torno dela. Mas a novidade proposta por Copérnico poderia ter passado despercebida pelos astrônomos da época, se ela não tivesse sido apresentada justamente num momento em que eles enfrentavam inúmeras anomalias e experimentavam uma profunda crise no exercício da sua atividade de pesquisa. Todavia, de saída, a hipótese de Copérnico também não estava isenta de anomalias. A principal delas era o fato de que a hipótese contrariava o texto bíblico, particularmente o episódio, narrado no Livro de Josué (X, 2), em que, durante uma batalha dos judeus na sua luta para reconquistar suas terras na Palestina, Josué, que sucedera a Moisés na liderança do povo, ordena ao Sol que permaneça imóvel, o que veio a ocorrer e foi decisivo para que os judeus vencessem a batalha. Apesar de enfrentar anomalias como essa, o heliocentrismo de Copérnico passou a oferecer uma alternativa ao geocentrismo de Ptolomeu e tornou o símbolo das mudanças na maneira de pensar a natureza, a ciência e a religião que constituem a chamada revolução científica do séc. XVII, cujos principais heróis a se juntar a Copérnico seriam Galileu, Kepler e Newton. *(Leia mais na página 63)*

Muito do que se disse até aqui tem a intenção de indicar que – exceto durante os períodos ocasionais extraordinários a ser discutidos na última parte deste artigo – os praticantes de uma especialidade científica madura aderem profundamente

à determinada maneira de olhar e investigar a natureza baseada em um paradigma. O paradigma diz-lhes qual o tipo de entidades com que o universo está povoado e qual a maneira como essa população se comporta; além disso, informa-os de quais as questões sobre a natureza que podem legitimamente ser postas e das técnicas que podem ser devidamente aplicadas na busca das respostas a essas questões. De fato, um paradigma diz tantas coisas aos cientistas que as questões que ele deixa para investigar raramente têm algum interesse intrínseco para os que estão fora da profissão. Embora pessoas cultivadas como um grupo possam ficar fascinadas ao ouvir descrever o espectro das partículas elementares ou os processos de réplica molecular, em regra, o seu interesse rapidamente fica exausto com uma apresentação das convicções que de antemão estão na base da investigação desses problemas. O resultado do projeto de investigação individual é indiferente a eles, e o seu interesse tem poucas probabilidades de voltar a ser despertado outra vez até que, como aconteceu com a não-conservação da paridade, a investigação inesperadamente leve a mudanças nas convicções que guiam a investigação. Sem dúvida essa é a razão pela qual tanto os historiadores como os divulgadores devotaram tão grande parte de sua atenção aos episódios revolucionários de que resulta uma mudança de paradigma e desprezaram tão completamente o tipo de trabalho que mesmo os maiores cientistas necessariamente fazem durante a maior parte do tempo.

Os físicos pressupõem que os fenômenos sejam invariáveis diante de uma mudança de referencial, desde que os referenciais sejam inerciais. A isso se chama de *simetria* entre fenômenos naturais. Tomemos o exemplo da queda de um objeto qualquer, digamos, uma caneta que temos em uma das mãos. Se deixamos a caneta cair com a mão esquerda ou com a mão direita, isso não deverá ter qualquer efeito importante sobre o fato de que a caneta estará sujeita a uma aceleração que equivale à regra  $9,8 \text{ m/s}^2$ . A mesma simetria deve haver, por exemplo, entre um objeto e sua imagem refletida num espelho. Tanto no caso da queda da caneta a ser abandonada pela mão oposta quanto da imagem refletida num espelho, na medida em que são aconte-

cimento simétricos aos seus correlatos, diz-se que houve uma conservação da paridade. A mesma conservação da paridade deve ser também observada entre fenômenos mais complexos como, por exemplo, as forças da natureza, tais como a força gravitacional, a eletromagnética e a chamada força forte – isto é, a força responsável pela estabilidade do núcleo atômico. A única exceção ocorre com a chamada força fraca, que, para não entrar em maiores detalhes, digamos que seja a força decorrente dos decaimentos  $\beta$ , ou seja, emissão espontânea de elétrons ( $e^-$ ) ou pósitrons ( $e^+$ ) pelo núcleo atômico na transição de partículas nucleares, quando, para dar um único exemplo, um próton transforma-se em um nêutron. A descoberta de que esse tipo de decaimento não obedecia ao princípio de conservação da paridade ocorreu em 1957, e deve-se às pesquisas da física Chien-Shiung Wu. Para entender as conclusões dessas pesquisas, tomemos a figura 1, na qual temos um desenho de Wu com o seu experimento e a imagem de ambos refletida num espelho. Apesar de haver uma simetria perfeita entre os traços de Wu e sua imagem refletida no espelho – ou, em outras palavras, haver uma conservação da paridade entre lado esquerdo e o lado direito do desenho de Wu –, o mesmo não ocorre entre o experimento e sua imagem. A ilustração do experimento traz pequenos pontos azuis que representam as partículas subatômicas, elétrons, emitidas pelo núcleo de  $Co^{60}$  (cobalto), direcionam-se ao polo norte. Na imagem à esquerda, os elétrons descem, enquanto à direita, sobem. Os elétrons realizam esses movimentos dentro de um eletroímã em forma de ferradura. A inversão do sentido do movimento que realizam – à esquerda, para baixo, e à direita, para cima –, deve-se ao fato de as espirais que formam o eletroímã



Figura 1

Figura 2: Diagrama de um eletroímã em forma de ferradura com espirais e um núcleo central, mostrando a direção do movimento dos elétrons (pontos azuis) emitidos pelo núcleo de  $Co^{60}$ .

Figura 2

conduzirem a corrente elétrica de modo a inverter a polaridade magnética ao passar de um lado para o outro. A polaridade do eletroímã é determinada pelo sentido das espirais e pela polaridade da fonte de energia. (Para confirmar essa inversão da polaridade, basta empregar a "regra da mão direita", que é um recurso prático adotado pelos físicos.) Por fim, justamente porque há a inversão da polaridade magnética, não ocorrerá a conservação da paridade no caso das forças fracas manifestas pelo decaimento  $\beta$ . Pode-se imaginar a enorme surpresa que a descoberta de Wu provocou na comunidade científica da sua época.

*Figura 1: reprodução de uma xilogravura de Ele Minouette, disponível em <http://minouette.blogspot.ca>.*

40

A minha posição ficará ainda mais clara se eu agora perguntar o que é que fica para a comunidade científica fazer quando existe um paradigma. A resposta – tendo em vista a resistência a inovações que existe e que é escondida frequentemente debaixo do tapete – é que, dado um paradigma, os cientistas esforçam-se, usando todas as suas capacidades e todos os seus conhecimentos para adequá-lo cada vez mais à natureza. Muito do seu esforço, particularmente nos estágios iniciais do desenvolvimento paradigmático, é direcionado para articular o paradigma tornando-o mais preciso em áreas em que a formulação original fora, como não podia deixar de ser, vaga. Por exemplo, conhecendo já que a eletricidade era um fluido com partículas em interação mútua à distância, os teóricos da eletricidade após Franklin podiam tentar determinar a lei quantitativa da força entre as partículas elétricas. Outros podiam buscar as inter-relações entre o comprimento da faísca, deflexão do eletroscópio, a quantidade de eletricidade, e a geometria dos condutores. Foi sobre problemas desse tipo que, nas últimas décadas do séc. XVIII, trabalharam Coulomb, Cavendish e Volta, e encontramos um grande paralelismo com o desenvolvimento de qualquer outra ciência madura. Os esforços atuais para determinar as forças quânticas que governam as interações dos núcleons pertencem precisamente à mesma categoria de problemas de articulação de um paradigma.



Esse tipo de problemas não constitui o único campo a conquistar que um paradigma propõe à comunidade que o aceita. Há sempre muitos outros campos onde o paradigma supostamente funciona, mas em que não foi, de fato, ainda aplicado. O ajustamento do paradigma à natureza em tais casos com frequência ocupa os melhores talentos científicos de uma geração. As tentativas no séc. XVIII de desenvolver a teoria de Newton das cordas vibrantes constituem um exemplo significativo, e os trabalhos atuais sobre a teoria quântica dos sólidos constitui outro exemplo. Além disso, existe sempre um trabalho imenso, fascinante a ser feito para melhorar o acordo em um campo onde se demonstrou já existir certo acordo aproximado. Trabalho teórico em problemas desse tipo é ilustrado no séc. XVIII com a investigação das perturbações que fazem desviar os planetas das suas órbitas keplerianas e igualmente no séc. XIX com a elaboração de uma teoria refinada dos espectros dos átomos complexos e das moléculas. E acompanhando todos esses problemas e muitos outros se coloca toda uma série ininterrupta de barreiras experimentais. Aparelhagem especial teve de ser inventada e construída para permitir a determinação de Coulomb da lei da força elétrica. Novos tipos de telescópios eram exigidos para observações que, uma vez efetuadas, iam exigir uma teoria newtoniana das perturbações melhorada. O projeto e construção de aceleradores mais potentes são necessidades cuja falta se faz continuamente sentir em ligação com o esforço de articular teorias das forças nucleares mais eficazes. Esses são os tipos de trabalho em que quase todos os cientistas passam a maior parte do seu tempo.

A determinação da Lei da Força Elétrica ou Lei de Coulomb, segundo Kuhn, é um típico exemplo de desenvolvimento de uma lei quantitativa, característica do período de ciência normal, quando toda comunidade científica volta-se à solução de problemas comuns, cuja solução exige o domínio de técnicas específicas de cálculo ou de arranjos experimentais – tal como ocorre na resolução de um quebra-cabeça. Quando Coulomb se volta ao problema de determinar a intensidade da força elétrica, ele está amparado pelas ex-

plicações de Franklin, que se afastavam da compreensão da eletricidade como o efeito da ação mecânica de fluidos efluente e afluyente e que, assim, permitiam pensá-la também como o efeito de uma força genuína. A grande vantagem de pensar desse modo a natureza da eletricidade era permitir que os seus efeitos pudesse ser verificados à distância, isto é, entre corpos que não estivessem em contato direto nem tivessem entre si a mediação de qualquer meio material. A força elétrica poderia ser justamente a responsável pelos efeitos de repulsão ou atração que Franklin identificara no exterior da Garrafa de Leyden, efeitos esses que se propagavam através do vidro da garrafa. Essa força tinha antecedentes nítidos na hipótese newtoniana da existência das chamadas "forças da natureza", entre as quais se destacava a força gravitacional. A própria Lei de Coulomb foi fortemente inspirada pela teoria newtoniana da gravitação universal. Coulomb a formulou com base num experimento (ver figura 1), no qual uma haste com esferas nas suas extremidades é sustentada por um fio de tal forma que, ao aproximar-se um corpo eletricamente carregado de uma das esferas, a haste se deslocará de  $q_1$  para  $q_2$  e o fio que a sustenta sofrerá uma torção, que, por sua vez, será proporcional à carga do corpo eletrizado. Supondo que a força elétrica poderia ser análoga à força gravitacional descoberta por Newton, Coulomb propôs que ela também deveria ser diretamente proporcional às cargas elétricas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Adiante, Kuhn observará que tentativas de medir os efeitos da atração tal como fez Coulomb já haviam sido realizadas antes dele. Um famoso experimento é o que se colocava um disco eletricamente carregado abaixo dos pratos de uma balança, para supostamente medir a intensidade da atração que ele exerceria sobre esses pratos. Tais experimentos não pas-

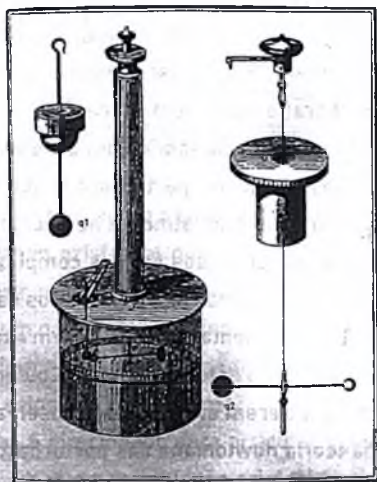


Figura 1.

sam, no entanto, de meros fatos desarticulados com os candidatos a paradigmas então disponíveis. Com o nascente paradigma principiado por Franklin, experimentos dessa natureza se iluminam de outro modo. Os resultados do experimento de Coulomb não somente poderiam ser previstos por esse último paradigma, como também contribuíram enormemente para articular os seus pressupostos teóricos – sobretudo, o conceito de carga elétrica positiva e negativa – com a experiência.

Tenho a impressão que o resumo que fiz da investigação científica normal não precisa aqui de ser mais aprofundado, mas há dois aspectos que devem ainda ser destacados. Primeiro, todos os problemas referidos atrás eram dependentes de paradigma, com frequência de várias maneiras. Alguns deles – por exemplo, a dedução dos termos de perturbação na teoria planetária de Newton – não podiam sequer ser colocados na ausência de um paradigma apropriado. Com a passagem da teoria de Newton para a teoria relativista, alguns deles transformaram-se em problemas diferentes e nem todos foram ainda hoje resolvidos.

4

Outros problemas – por exemplo, a tentativa de determinar a lei das forças elétricas – podiam ser e eram, pelo menos de uma forma vaga, colocados antes do aparecimento do paradigma em que acabaram por ser resolvidos. Mas, na sua forma primitiva, não podiam ser atacados com êxito. Aqueles que descreviam as atrações e as repulsões elétricas em termos de "eflúvios" tentaram medir as forças resultantes colocando um disco carregado a uma distância determinada por baixo do prato de uma balança. Nessas condições não se conseguiu chegar a resultados consistentes susceptíveis de interpretação. A precondição para o sucesso acabou por ser um paradigma que reduzia a ação elétrica a uma ação do tipo gravitacional, ação à distância entre partículas pontuais. A partir de Franklin os teóricos da eletricidade passaram a pensar a ação elétrica nesses termos; tanto Coulomb como Cavendish os tinham em vista ao conceber as suas aparelhagens.

Finalmente, em ambos esses casos, bem como em todos os outros, era necessária uma adesão ao paradigma para fornecer uma motivação com sentido. Quem conceberia e construiria complicados aparelhos de uso altamente específico, ou quem passaria meses tentando resolver determinada equação diferencial, sem a garantia segura de que o seu esforço, se tivesse êxito, daria o fruto desejado de antemão?

Essa referência ao resultado de um projeto de investigação que é desejado de antemão leva à segunda característica notável daquilo a que estou agora chamando de investigação normal, de base paradigmática. O cientista que trabalha nela de modo algum se ajusta à antiga imagem do cientista como um explorador ou um inventor de novas e luminosas teorias que permitem previsões brilhantes e inesperadas. Pelo contrário, em todos os problemas discutidos atrás todo o resultado mesmo em pormenor era conhecido desde o início. Nenhum cientista que aceitasse o paradigma de Franklin poderia duvidar da existência de uma lei de atração entre partículas minúsculas de eletricidade, e era razoável supor que essa lei se poderia exprimir por uma relação algébrica simples. Alguns deles, mesmo, previam que teria de ser uma lei envolvendo o inverso do quadrado da distância. Nunca os físicos nem os astrônomos newtonianos duvidaram que as leis do movimento e da gravitação de Newton acabariam por reproduzir os movimentos observados da Lua e dos planetas, embora, por mais de um século, a complexidade matemática impedisse que fosse obtido um bom acordo em todos os casos. Em todos esses problemas, como na maioria dos que os cientistas abordam, o ataque não é dirigido com o fim de desvendar o desconhecido, mas de obter o conhecido. A fascinação deles é causada não pelo resultado que poderão vir a descobrir, mas pela dificuldade em conseguir mesmo o resultado. Em vez de se assemelhar a uma exploração, a investigação normal apresenta-se antes como o esforço de juntar um cubo chinês cujo aspecto final é conhecido desde o princípio.

O cubo chinês (também conhecido com "snake cube") é um quebra-cabeça muito semelhante ao popular cubo mágico (ver figura 1). A diferença entre o cubo chinês e o cubo mágico é que, no primeiro, as peças que devem ser reunidas numa mesma face não estão aleatoriamente dispostas nas demais faces do mesmo cubo, mas reunidas numa longa cadeia de pequenos cubos. De qualquer modo, ambos os quebra-cabeças contêm aquilo que Kuhn deseja enfatizar com a sua metáfora da ciência normal com uma atividade de resolução de quebra-cabeça, a saber, que a solução já é conhecida de antemão e o grande desafio é justamente obter por meio de procedimentos controlados aquilo que já é conhecido.

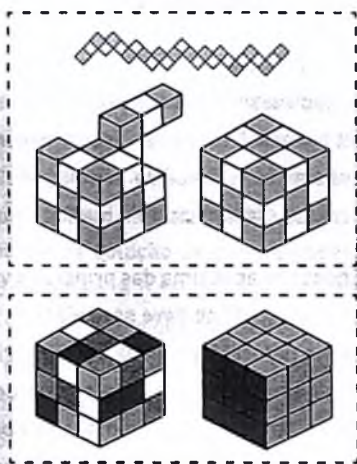


Figura 1

Estas são as características da investigação normal que eu tinha em vista quando, no começo deste ensaio, descrevia a pessoa envolvida nela como um solucionador de quebra-cabeças, à maneira de um jogador de xadrez. O paradigma que ele adquiriu graças a uma preparação prévia fornece-lhe as regras do jogo, descreve as peças com que se deve jogar e indica o objetivo que se pretende alcançar. A sua tarefa consiste em manipular as peças segundo as regras de maneira que seja alcançado o objetivo em vista. Se ele falha, como acontece com a maioria dos cientistas, pelo menos na primeira tentativa de atacar um problema, esse fracasso só revela a sua falta de habilidade. As regras fornecidas pelo paradigma não podem então ser postas em questão, uma vez que sem essas regras não haveria quebra-cabeças para resolver. Não há, portanto, dúvidas de que os problemas (ou quebra-cabeças), pelos quais o praticante da ciência madura normalmente se interessa, pressupõem a adesão profunda a um paradigma. E é uma sorte que

essa adesão não seja abandonada com facilidade. A experiência mostra que, em quase todos os casos, os esforços repetidos, quer do indivíduo, quer do grupo profissional, acabam finalmente por produzir, dentro do âmbito do paradigma, uma solução mesmo para os problemas mais difíceis. Esta é uma das maneiras pela qual avança. Nessas condições, devemos surpreender-nos com a resistência dos cientistas à mudança de paradigmas? O que eles estão defendendo não é, no fim de contas, nada mais nem menos do que a base do seu modo de vida profissional.

46 Chegando aqui, uma das principais vantagens do que comecei chamando de dogmatismo científico deve ser evidente. Como uma vista de olhos rápida a qualquer história natural baconiana ou a descrição do desenvolvimento pré-paradigmático de qualquer ciência mostram, a natureza é demasiado complexa para ser explorada ao acaso mesmo de maneira aproximada. Tem que existir algo que diga ao cientista onde procurar e por que procurar, e esse algo, que pode muito bem não durar mais que essa geração, é o paradigma que lhe foi fornecido com a sua educação de cientista. Em virtude desse paradigma e da necessária confiança nele, o cientista em grande parte deixa de ser um explorador, ou pelo menos de ser um explorador do desconhecido. Em vez disso, ele luta por articular e concretizar o conhecido, e esse objetivo específico leva-o a conceber diversos aparelhos e variadas versões da teoria. Desses quebra-cabeças que o levam a projetar e a adaptar, ele tira o seu prazer. A menos que tenha uma sorte extraordinária, é do êxito em resolver os quebra-cabeças que irá depender a sua reputação. A tarefa em que ele está empenhado caracteriza-se, a dada altura, e inevitavelmente, por uma visão drasticamente reduzida. Mas dentro do campo para que está focada a sua visão o esforço continuado para ajustar os paradigmas à natureza produz um conhecimento e uma compreensão de pormenores esotéricos que não poderiam ter sido alcançados de nenhuma outra maneira. Desde Copérnico e o problema da precessão de Einstein e o efeito fotoelétrico, o progresso da ciência tem sempre dependido precisamente desse aspecto esotérico. Uma das grandes virtudes da adesão a paradigmas consiste em que ela liberta os cientistas para que se possam ocupar com os pequenos quebra-cabeças. Porém, essa imagem da investiga-

ção científica como resolução de quebra-cabeças ou ajustamento de paradigmas deve estar, em última análise, bastante incompleta. Embora o cientista possa não ser um explorador, os cientistas estão sempre descobrindo tipos novos e inesperados de fenômenos. Embora o cientista não se esforce normalmente por inventar novos tipos de teorias fundamentais, tais teorias com frequência têm surgido da prática continuada da investigação. Mas nenhuma inovação desse gênero apareceria se a atividade a que chamei de ciência normal tivesse sempre êxito. De fato com muita frequência o indivíduo envolvido na solução de quebra-cabeças oferece resistência às novidades que se apresentam, e o faz por razões muito aceitáveis. Para ele trata-se de alterar as regras do jogo e qualquer alteração de regras é intrinsecamente subversiva. Esse elemento subversivo torna-se, claro está, mais aparente em inovações teóricas de grande importância como as associadas aos nomes de Copérnico, Lavoisier ou Einstein. Mas a descoberta de um fenômeno não antevisto pode ter o mesmo efeito destrutivo, embora geralmente em um grupo mais reduzido e por um período de tempo mais curto. Uma vez realizada a primeira das experiências, o ecrã luminoso de Röntgen demonstrava que a anterior aparelhagem padrão de raios catódicos se comportava de maneira que ninguém havia antevisto. Havia uma variável não-prevista a ser controlada; as investigações anteriores, já a caminho de se constituir em paradigmas, necessitavam ser reavaliadas; velhos quebra-cabeças tinham de ser resolvidos de novo, recorrendo-se a um conjunto de regras algo diferente. Mesmo sendo facilmente assimilável, uma descoberta como a dos raios X pode violar um paradigma que previamente orientara a investigação. O que se segue é que, se a atividade normal de solucionar quebra-cabeças tivesse sempre êxito, o desenvolvimento da ciência não poderia conduzir a qualquer tipo de inovação fundamental.

É a intensa atividade científica no período de ciência normal que possibilita o surgimento de determinados fenômenos ou fatos que, por vezes, o próprio paradigma no qual se inspira não se mostra capaz de prever, modelar,

resolver ou explicar. Foi isso que se passou com o paradigma newtoniano, que sequer possuía ferramentas teóricas capazes de prever o fenômeno conhecido como a precessão do periélio de Mercúrio. Esse fenômeno pode ser descrito como um desvio progressivo na órbita elíptica de Mercúrio, que faz mover o seu eixo maior num arco de  $43''$ , tomando como ponto fixo a posição mais próxima ao Sol. Mas isso somente foi claramente enunciado após o aparecimento da teoria da relatividade geral de Einstein, que não apenas a identificou, mas também ofereceu uma explicação para a sua ocorrência. A explicação com base na teoria da relatividade geral contém vários elementos que a diferenciam do paradigma newtoniano: as "deformações" provocadas no plano do espaço-tempo pela presença de corpos com grande massa (que significa grande quantidade de energia). A precessão de Mercúrio foi, portanto, descoberta em virtude da exatidão atingida pela medições astronômicas, uma característica marcante da ciência normal. Ela é um exemplo da incapacidade do paradigma de prever todos os fenômenos ou da possibilidade de que o cientista, mesmo quando procede com toda a sua habilidade em manipular as regras internas do paradigma, não consiga prever o "inesperado". A falha do paradigma ou a anomalia indeclinável inspira cientistas como Einstein a rever os fundamentos do paradigma vigente e, assim, fazer da ciência "a atividade humana mais consistentemente revolucionária".

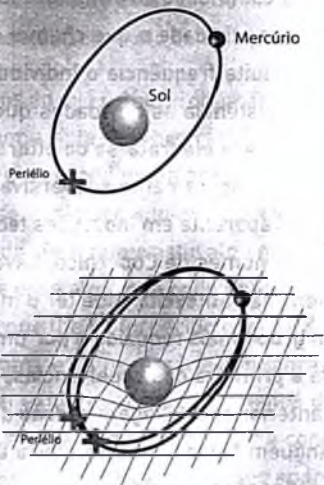


Figura 1

Mas está claro que a ciência normal nem sempre tem êxito e ao reconhecer esse fato deparamos com a segunda grande vantagem da investigação de base paradigmática. Ao contrário de muitos dos antigos teóricos da eletricidade, o pra-



ticante de uma ciência madura sabe com precisão razoável a que tipo de resultado pode chegar com a sua investigação. Em consequência disso, está em posição especialmente favorável para detectar um problema de investigação que saia do esperado. Por exemplo, como Galvani ou Röntgen, ele pode se deparar com um efeito que sabe que não deveria ocorrer. Ou, por exemplo, como Copérnico, Planck ou Einstein, pode concluir que os fracassos repetidos dos seus antecessores, ao ajustar o paradigma à natureza, é evidência inescapável da necessidade de mudar as regras com que se tenta fazer esse ajustamento. Ou, por exemplo, como Franklin ou Lavoisier, pode concluir depois de repetidas tentativas que nenhuma das teorias existentes pode ser articulada de forma a explicar determinado efeito recentemente descoberto. Como se vê por esses exemplos e por muitos outros, a prática científica normal de solucionar quebra-cabeças pode levar, e leva de fato, ao reconhecimento e isolamento de uma anomalia. Um reconhecimento dessa natureza é, penso eu, pré-condição para quase todas as descobertas de novos tipos de fenômenos e para todas as inovações fundamentais da teoria científica. Depois que um primeiro paradigma foi alcançado, uma quebra nas regras do jogo preestabelecido é o prelúdio habitual para uma inovação científica importante.

49

Para um cientista muito habilidoso e muito bem treinado no paradigma vigente, é muito maior a probabilidade de que ele verifique o efeito que não deveria ocorrer. Ainda assim, é preciso que ocorra o fato ou fenômeno em sua presença e que sua atenção esteja voltada ao fenômeno, promovendo, portanto, a ocasião. Além disso, é preciso que o acontecimento imprevisível – portanto, uma anomalia – seja trabalhado a fim de que se ajuste ao paradigma vigente ou, se isso for de tudo impossível, justifique a proposição de um novo paradigma. Kuhn refere-se acima a dois casos emblemáticos que estiveram longe de promover essa solução extrema, mas nem

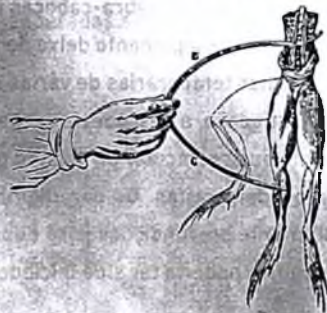


Figura 1

por isso suas descobertas foram menos impactantes. No caso de Galvani, a descoberta ocorreu quando ele encostou acidentalmente um arame ligado a uma máquina eletrostática no nervo ciático exposto de uma rã e verificou que a musculatura do membro inferior do anfíbio contraiu-se (ver figura 1). O acontecimento era totalmente inesperado. Galvani, após repetir o mesmo experimento outras tantas vezes, concluiu que a eletricidade era também uma qualidade animal e que, também por meio de uma excitação mecânica, essa qualidade poderia ser liberada. *(Leia Mais na página 65)*

50 Vejamos primeiro o caso das descobertas. Muitas delas, como a lei de Coulomb ou a descoberta de um novo elemento para preencher um espaço vazio na tabela periódica, não levantam dificuldades. Não levam a "novos tipos de fenômenos", mas sim a descobertas antecipadas graças a um paradigma e obtidas por solucionadores de quebra-cabeças experientes: essa espécie de descobertas é um produto natural do que passei a chamar de ciência normal. Mas nem todas as descobertas pertencem a essa categoria; muitas delas não poderiam ter sido antecipadas por extrapolação do conhecido; de certa maneira, tinham de ocorrer "por acidente". Por outro lado, o acidente de onde elas surgiram não poderia ter ocorrido a uma pessoa qualquer que simplesmente estivesse olhando ao redor. Nas ciências maduras a descoberta requer equipamento muito especializado, tanto do ponto de vista da concepção como do instrumental, e esse equipamento especializado tem vindo a ser constantemente desenvolvido e aplicado com o fim de resolver os quebra-cabeças da investigação normal. A descoberta aparece quando esse equipamento deixa de funcionar da forma como deveria. Além disso, como falhas temporárias de várias espécies ocorrem em quase todos os projetos de investigação, a descoberta surge só quando o fracasso é particularmente persistente ou espetacular ou quando pareça pôr em questão convicções, e maneiras de proceder aceitas. Os paradigmas estabelecidos são, portanto, muitas vezes duplamente precondições para descobertas. Sem eles o projeto que sai do esperado nunca poderia ter sido iniciado. E mesmo depois que o projeto saiu do espe-

rado, como acontece com a maior parte deles durante algum tempo, o paradigma pode ajudar a determinar se o fracasso merece mais investigação. A resposta normal e adequada a um fracasso na resolução de quebra-cabeças consiste em lançar a culpa nos talentos ou aparelhos de alguém e a seguir mudar para outro problema. Se não quer perder tempo, o cientista deve ser capaz de discernir entre uma anomalia essencial e um fracasso acidental.

Esse esquema – descoberta graças a uma anomalia que põe em dúvida convicções e técnicas estabelecidas – tem vindo sempre a ser repetido ao longo do desenvolvimento científico. Newton descobriu a composição da luz branca por não ser capaz de reconciliar a dispersão observada com a dispersão prevista pela então recente lei de Snell da refração. A bateria elétrica foi descoberta quando os detectores de cargas estáticas então existentes deixaram de se comportar como o paradigma de Franklin fazia prever. O planeta Netuno foi descoberto em virtude do esforço desenvolvido para explicar as anomalias na órbita de Urano. O elemento cloro e o composto monóxido de carbono surgiram quando das tentativas de reconciliar a nova química de Lavoisier com as observações de laboratório. Os chamados gases nobres foram o produto de uma longa série de investigações originadas na presença de uma pequena, mas persistente, anomalia na medição da densidade do azoto atmosférico. O elétron foi introduzido para explicar algumas propriedades anômalas da condução de eletricidade através dos gases, e o seu spin foi sugerido para esclarecer anomalias doutro tipo observadas no espectro atômico. Nas ciências maduras as inovações inesperadas são descobertas principalmente depois de algo ter corrido mal.

Com o apoio de potentes telescópios que ele próprio construira, Herschel descobriu o planeta Urano em 1781. Ele constatou, entretanto, algo muito estranho na órbita desse planeta. Com base na lei da gravitação universal de Newton, não parecia ser possível prever a órbita de Urano com a mesma precisão obtida para os demais planetas então conhecidos. Sem nem ima-

ginar questionar a validade dessa lei, os astrônomos passaram a supor que a causa da perturbação da órbita de Urano deveria ser o efeito da presença de um outro planeta nas suas proximidades. Na figura 1, quando Urano se encontra na posição a, ele seria, então, acelerado pela presença de um outro planeta numa órbita mais externa que a sua em relação ao Sol. O inverso correria quando Urano se encontra em b, quando então ele

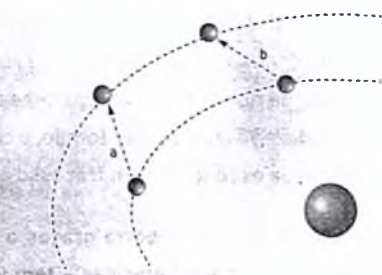


Figura 1

teria o seu movimento retardado pela presença do mesmo suposto planeta. Adams, então um jovem estudante de Cambridge em 1843, foi o primeiro a calcular com precisão qual deveria ser a massa e a órbita desse planeta desconhecido. Mas seus cálculos, quando enviados ao Observatório Astronômico Real em Greenwich, Inglaterra, não receberam a atenção merecida. No mesmo ano, na França, Le Verrier fez cálculos semelhantes e chegou aos mesmos resultados que Adams e os enviou ao Observatório de Berlim. Em 1846, os astrônomos de Berlim anunciaram a Le Verrier com entusiasmo que "o planeta cuja localização você calculou realmente existe". Mesmo antes dessa notícia, o astrônomo francês já havia batizado o novo planeta de Netuno. Esse exemplo demonstra o quanto longe pode a investigação ser conduzida quando firmemente orientada por um paradigma. A aplicação que Le Verrier fizera da lei de Newton lhe proporcionara um cálculo que diferia em apenas  $1^\circ$  de arco da posição em que os astrônomos de Berlim localizaram Netuno. Nem todos os problemas são, entretanto, resolvidos pelo paradigma vigente. O próprio Le Verrier experimentou essa frustração. Ele também havia previsto a existência de um outro suposto planeta, por ele nomeado de Vulcano, que seria responsável pela perturbação observada na órbita de Mercúrio. Conforme já vimos nas notas anteriores, Le Verrier não alcançou o mesmo sucesso obtido com a sua previsão de 1843, e a causa dessa perturbação somente foi convincentemente explicada muito tempo depois com a teoria da relatividade geral de Einstein.

Porém, se uma anomalia é significativa na preparação do caminho para novas descobertas, ela tem um papel ainda mais importante na invenção de novas te-

orias. Contrariamente a uma convicção estabelecida, embora não universal, as novas teorias não são inventadas para explicar observações que não tinham antes sido ordenadas por nenhuma outra teoria. Pelo contrário, praticamente em qualquer época do desenvolvimento de uma ciência avançada, todos os fatos cuja relevância é aceita apresentam-se como se ajustando bem à teoria existente ou estando em vias de se ajustar. O processo de fazê-los ajustar melhor dá origem a muitos dos problemas padrões da ciência normal. E quase sempre cientistas convictos conseguem resolvê-los. Porém nem sempre conseguem, e quando falham repetidas vezes e cada vez mais, então o seu setor da comunidade científica depara com o que alguns chamei de "crise". Ao reconhecer que algo está fundamentalmente errado na teoria com que trabalham, os cientistas tentarão articulações da teoria mais fundamentais do que as que eram admitidas antes (É típico, nos tempos de crise, encontrar numerosas versões diferentes da teoria paradigmática). Ao mesmo tempo, irão começar mais ou menos ao acaso experiências na zona da dificuldade, na esperança de descobrir algum efeito que sugira a maneira de pôr a situação a claro. Unicamente em situações desse gênero, sugiro, é uma inovação fundamental na teoria científica não só inventada, mas aceita.

53

O estado da astronomia de Ptolomeu era, por exemplo, uma catástrofe reconhecida por toda a gente antes de Copérnico propor uma mudança de base na teoria astronômica, e o prefácio onde Copérnico apresenta as suas razões para inovar constitui uma descrição clássica de uma situação de crise. As contribuições de Galileu para o estudo do movimento tomaram por ponto de partida dificuldades bem conhecidas da teoria medieval, e Newton reconciliou a mecânica de Galileu com a teoria copernicana. A nova Química de Lavoisier era um produto das anomalias criadas simultaneamente com a proliferação de novos gases e os primeiros estudos sistemáticos das relações entre os pesos. A teoria ondulatória da luz foi desenvolvida em um ambiente de crescente desconforto devido às anomalias surgidas nos efeitos de difração e polarização para a teoria corpuscular de Newton. A termodinâmica, que depois veio a aparecer como uma superestrutura

para as ciências existentes, foi estabelecida unicamente à custa da rejeição das prévias teorias paradigmáticas do calórico. A mecânica quântica nasceu de uma série de dificuldades que envolviam a radiação do corpo negro, o calor específico e o efeito fotoelétrico. De novo a lista podia ser alargada, mas a questão que interessa deve já estar bem clara. As novas teorias surgem do trabalho conduzido de acordo com as velhas teorias, e isso só acontece quando se observa alguma coisa que não está andando bem. O prelúdio ao seu aparecimento é uma anomalia amplamente conhecida, e tal conhecimento só pode existir em um grupo que sabe muito bem o que seria terem as coisas seguindo o caminho certo.

Como as limitações de espaço e de tempo me forçam a parar aqui, a minha exposição sobre o dogmatismo tem de ficar esquemática. Não tentarei sequer tratar aqui da estrutura fina que, em qualquer momento, o desenvolvimento científico apresenta. Mas há outra consequência da minha tese que necessita de um comentário final. Embora a investigação susceptível de ter êxito requeira uma adesão profunda ao status quo, a inovação continua a ocupar uma posição central. Os cientistas são treinados para funcionar como solucionadores de quebra-cabeças dentro de regras estabelecidas, mas são também ensinados a considerar-se eles próprios como exploradores e inventores que não conhecem outras regras além das ditadas pela natureza. O resultado é a aquisição de uma tensão, em parte ao nível da comunidade, entre as habilitações profissionais de um lado e a ideologia profissional do outro. É quase certo que a tensão e a capacidade de mantê-la são elementos importantes para o êxito da ciência. Até aqui tratei exclusivamente da dependência da investigação da tradição, a minha discussão é inevitavelmente unilateral. Em todas essas questões há muito mais para ser dito.

Mas ser unilateral não significa necessariamente estar errado, e pode mesmo ser uma atitude preliminar essencial antes de se fazer um exame mais penetrante das condições necessárias para uma vida científica com êxito. Quase ninguém, talvez mesmo ninguém, precisa de ser informado que a vitalidade da

ciência depende da continuidade nas inovações que abalem as tradições. Mas, aparentemente em conflito, a dependência da investigação de uma profunda adesão a instrumentalidades e convicções estabelecidas recebe o mínimo possível de atenção. Pressiono para que lhe seja dada mais atenção. Até que isso aconteça, algumas das características mais importantes da educação científica e do desenvolvimento da ciência continuarão a ser extremamente difíceis de compreender.





# Leia Mais

## Página 29

Apesar de haver divergências importantes entre os corpuscularismos cartesiano e newtoniano, ambos serão igualmente responsáveis pela enorme influência que a metafísica corpuscularista e mecanicista exercerá sobre os estudos da eletricidade no século seguinte ao de Descartes e Newton. A maioria dos estudiosos associaram a eletricidade a um fluido – isto é, um agregado de inúmeros corpúsculos em movimento – capaz de penetrar os poros da matéria e produzir, por exemplo, os fenômenos da atração, repulsão e condução elétricas. Uma famosa experiência realizada nesse período caracteriza muito bem esse modo de pensar. A experiência foi realizada no pensionato de Charterhouse por Gray, em 1729, e é bem representativa da influência corpuscularista nos estudos sobre a eletricidade nessa época. A experiência consistia em, por meio de um gerador de eletricidade estática, eletrizar uma criança sustentada por cordas de lã. Na figura 1, nota-se que a eletrização da criança se faz por meio do contato de seus pés com uma esfera de vidro dotada de eletricidade estática. Folhas de ouro colocadas fora do alcance das suas mãos são, então, atraídas na direção da criança. Com essa experiência, Gray não desejava destacar tanto o fenômeno da atração elétrica – cuja explicação dentro de poucos anos se tornaria o principal desafio dos seus contemporâneos –, mas o fenômeno da condução da eletricidade, que ele compreendia como algo material chamado de "eflúvio elétrico". O eflúvio de Gray é uma das várias versões corpuscularistas formuladas na tentativa

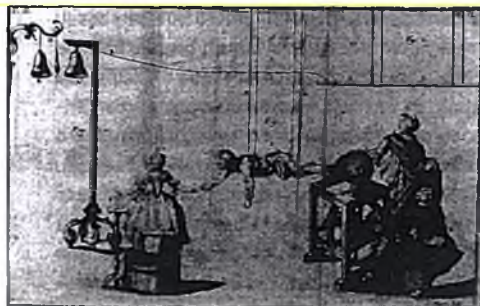


Figura 1

de descrever a natureza da eletricidade. O corpuscularismo foi um importante aliado na distinção proposta originalmente por Gray entre corpos condutores e corpos não-condutores – que surpreendentemente deveria incluir entre os primeiros o próprio corpo humano.

## Página 35

Um reforço importante para a grande repercussão alcançada pela teoria do fluido elétrico de Franklin veio da sua impressionante facilidade para explicar o funcionamento do dispositivo conhecido como Garrafa (ou um Jarro) de Leyden. Esse dispositivo foi desenvolvido acidentalmente em 1746 por Musschenbroek, na cidade holandesa de Leyden, e pode ser considerado o primeiro condensador elétrico. Desde o seu aparecimento, as razões do funcionamento da Garrafa de Leyden intrigava os estudiosos da eletricidade. A fig1 ilustra o seu funcionamento, integrado a vários outros dispositivos empregados em experimentos de eletricidade do séc. XVIII. A esfera é a famosa máquina de geração de eletricidade estática de Hauksbee. O gerador produz eletricidade estática devido ao atrito do contato das mãos do operador da máquina contra a esfera de vidro em rotação. A corrente metálica permite a condução da eletricidade da esfera eletrizada até a barra metálica. As cordas que mantêm a barra suspensa são produzidas de materiais isolantes, tais como a lã. Na extremidade esquerda da barra, conecta-se um fio condutor que se encontra mergulhado na água contida no interior do jarro ou da garrafa, que o experimentador sustenta em uma das mãos. A eletricidade gerada é, portanto, conduzida da esfera para o interior da garrafa disposta ao final do circuito. Na terminologia da física dos nossos dias, diríamos que a água no interior da garrafa acumula os elétrons que são retirados das mãos do operador pelo atrito com a esfera em movimento. É justamente esse acúmulo de elétrons na água que provoca a repulsão dos elétrons da mão do experimentador que segura o jarro. Desse modo, a carga elétrica da mão direita do experimentador vai sendo alterada de eletricamente neutra para eletricamente positiva. Todavia, a mão esquerda do experimentador está na iminência de tocar a barra metálica. Essa cena descreve exatamente o que se passou com o ajudante de Musschenbroek, Cunaeus, que levou um grande choque ao tocar ao mesmo tempo a garrafa e a barra metálica – porque o circuito, ou caminho percorrido pelos elétrons, se fechara, com os elétrons percorrendo como um fluido ininterrupto, ou corrente elétrica contínua, os braços e o tronco de Cunaeus. Nenhuma dessas explicações envolvendo elétrons eram, entretanto, do conhecimento de Franklin e de seus contemporâneos. Esse é o tipo de explicação que podemos dar hoje em dia. Mas, comparando-a à explicação dada por Franklin, vemos o quanto elas possuem em comum e compreendemos um pouco melhor por que a explicação de Franklin impressionou tão profundamente seus contemporâneos.

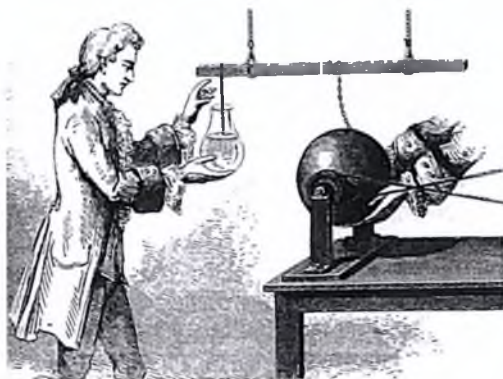


Figura 1

### Página 37

Mesmo os resultados das grandes mudanças na ciência jamais são definitivos. Uma das principais lições de Kuhn sobre a ciência é justamente o seu caráter dinâmico, isto é, o fato de que as mudanças conceituais – precisamente, as *revoluções científicas* – sejam a sua característica mais distintiva e constante. Assim, ocorreu que nas últimas décadas do séc. XIX novas ideias sobre o sistema solar passaram a vigorar e processou-se uma profunda revisão dos conceitos que orientaram as extraordinárias conquistas da revolução científica do séc. XVII. Entre os resultados dessas revisões, figura a convicção de que se poderia reduzir o sistema copernicano ao ptolomaico mediante uma simples mudança de referencial. Se adotamos a Terra como referência e a partir dela avaliamos o movimento dos planetas, reduzimos as trajetórias planetárias copernicanas às previstas pelo sistema ptolomaico. Os centros dos movimentos perdem, portanto, o seu caráter absoluto e passam a ser considerados como algo *relativo* à posição do observador. Mas por que os astrônomos demoraram tanto tempo – quase 250 anos – para chegar a essa conclusão? A situação é

ainda mais surpreendente se notarmos que já no séc. XVII havia filósofos e físicos – sobretudo, Descartes, Huygens e Leibniz – que defendiam posições relativistas, isto é, que o estado de movimento ou de repouso dos corpos somente pode ser definido com relação aos corpos que se encontram à sua volta. A figura 1, ilustra o princípio enunciado por Huygens por volta de 1650. Segundo esse princípio, tanto o movimento quanto a velocidade dos corpos deve ser avaliado em relação outros corpos que consideramos em repouso. Por causa disso, a velocidade das bolas suspensas pelos fios após colidirem entre si será exatamente a mesma tanto para o observador que está no barco em movimento vendo as bolas A e B se afastarem entre si quanto para aquele que está na margem em repouso observando C e D. Por que esse princípio de Huygens sobre a relatividade do movimento não foi, então, levado em consideração pelos físicos que se envolveram nas polêmicas em torno da hipótese copernicana? Novamente, para compreender esse aparente paradoxo, podemos recorrer à maneira como Kuhn relaciona anomalia e revolução científica: a conclusão de que tanto Ptolomeu como Copérnico poderiam ser utilizados para descrever a posição da Terra somente poderia ter sido alcançada depois que se colocaram os ditos "problemas insolúveis" – isto é, as anomalias – enfrentados pela física não-relativista de Copérnico, Galileu, Kepler e Newton.

60



Figura 1

## Página 49

O caso de Röntgen e a sua descoberta do raio-X é o segundo caso referido por Kuhn de ocorrência de "um efeito que se sabe não deveria ocorrer", ou seja, de fenômenos não previstos pelo paradigma vigente. Röntgen presenciou

algo que não deveria ocorrer ao trabalhar com emissores de raios catódicos conhecidos por tubos de Crookes. Os raios catódicos são radiações nas quais os elétrons emergem do polo negativo de um eletrodo (catodo) e se propagam na forma de um feixe de partículas negativas ou feixe de elétrons acelerados. Os tubos de Crookes são aparelhos destinados a produzir um feixe orientado de elétrons, muito utilizado no séc. XIX para analisar as emissões luminosas de gases. Röntgen tinha em seu laboratório cartões de platinocianeto de bário, que ele utilizava para detectar emissões eletromagnéticas por meio do brilho fosforescente que emitiam - efeito muito comum em tomadas e interruptores recobertos com material semelhante ao contido nos cartões. Mas os cartões não faziam parte do experimento, apenas estavam acidentalmente próximos. Röntgen posicionou o tubo de Crookes dentro de uma caixa de papelão preta para melhor perceber a luminosidade produzida pelo gás contido no tubo quando emitidos contra ele raios catódicos. Com a luz apagada, Röntgen percebeu que, além do gás contido no interior do tubo, também os cartões de platinocianeto de bário brilhavam, mesmo que estivessem a certa distância do tubo. Ele concluiu que alguma radiação eletromagnética era produzida pelo tubo de Crookes e, então, iniciou uma série de experimentos para decifrar o enigmático raio eletromagnético "X" produzido pelo emissor catódico. O próprio Röntgen logo supôs que os raios-X tinham a propriedade de atravessar materiais de baixa densidade, como os músculos, por exemplo, e serem absorvidos por materiais com densidades mais elevadas como, por exemplo, os ossos. Para confirmar a sua hipótese, ele convenceu sua esposa a participar de um dos seus experimentos. É dela a mão que aparece naquela que é a primeira radiografia da história (ver figura 1).

61

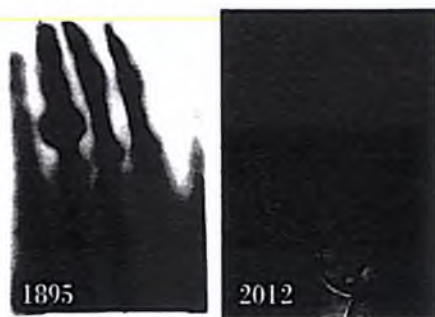


Figura 1

4  
-  
4

2  
7

# Índice Onomástico

- Aristóteles** (384 a.C.-322 a.C.): filósofo grego. Pág. 24, 26.
- Bacon, Francis** (1561-1626): filósofo inglês. Pág. 32.
- Black, Joseph** (1728-1799): físico e químico escocês. Pág. 26.
- Cavendish, Henry** (1731-1810): físico e químico britânico. Pág. 32, 40, 43.
- Cézanne, Paul** (1839-1906): pintor pós-impressionista francês. Pág. 25.
- Copérnico, Nicolau**(1473-1543): astrônomo e matemático polonês. Pág. 25, 35, 36, 37, 46, 47, 49, 53, 64,.
- Coulomb, Charles Augustin de** (1736-1806): físico francês. Pág. 32, 40, 41, 42, 43, 50.
- Dalton, John** (1766-1844): químico e físico inglês. Pág. 20.
- Demócrito** (460 a.C.-370 a.C): filósofo grego pré-socrático. Pág. 27.
- Desaguliers, Jean Théophile** (1683-1744): cientista francês. Pág. 27
- Descartes, René** (1596-1650): filósofo, físico e matemático francês. Pág. 25, 27, 28, 29, 36, 61, 64.
- 
- Du Fay, Charles François de Cisternay** (1698-1739): químico francês. Pág. 27, 30, 31, 34
- Einstein, Albert** (1879-1955): físico teórico alemão. Pág. 46, 47, 48, 49, 52.
- Epícuro** (341 a.C-271 a.C): filósofo grego do período helenístico. Pág. 27.
- Franklin, Benjamin** (1706-1790): jornalista, diplomata e cientista norte-americano. Pág. 24, 27, 31, 32, 33, 34, 40, 42, 43, 44, 49, 51, 62.

- Fresnel, Augustin-Jean** (1788-1827): engenheiro francês. Pág. 35.
- Galilei, Galileu** (1564-1642): físico, matemático e astrônomo italiano. Pág. 19, 37, 53, 64.
- Galvani, Luigi** (1737-1798): médico e professor de anatomia italiano. Pág. 49, 50.
- Gay-Lussac, Louis Joseph** (1778-1850): físico e químico francês. Pág. 20.
- Gray, Stephen** (1666-1736): físico e astrônomo inglês. Pág. 27, 29, 34, 61.
- Hauksbee, Francis** (1666-1713): físico inglês. Pág. 27, 62.
- Herschel, William** (1738-1822): astrônomo britânico. Pág. 51.
- Huygens, Christiaan** (1629-1695): matemático, astrônomo e físico holandês. Pág. 27, 64.
- Kepler, Johannes** (1571-1630): astrônomo e matemático alemão. Pág. 20, 35, 37, 64.
- Kinnersley, Ebenezer** (1711-1778): cientista britânico. Pág. 31.
- Lagrange, Joseph Louis** (1736-1813): matemático italiano. Pág. 25, 26.
- Lavoisier, Antoine Laurent de** (1743-1794): químico francês. Pág. 24, 26, 47, 49, 51, 53.
- Le Verrier, Urbain Jean Joseph** (1811-1877): matemático francês. Pág. 52.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm von** (1646-1716): filósofo, cientista e matemático alemão. Pág. 37, 64.
- Lucrecio** (99a.C-55a.C): poeta e filósofo latino. Pág. 28.
- Lyell, Charles** (1797-1875): geólogo britânico. Pág. 24.
- Maxwell, James Clerk** (1831-1879): físico e matemático britânico. Pág. 20, 35.



- Mendel, Gregor Johann** (1822-1884): botânico austríaco. Pág. 20.
- Musschenbroek, Pieter Von** (1692-1761): cientista holandês. Pág. 62.
- Nägel, Karl Wilhelm von** (1817-1891): botânico suíço. Pág. 20.
- Newton, Isaac** (1643-1727): cientista e matemático inglês. Pág. 24, 25, 26, 27, 28, 29, 35, 36, 37, 41, 42, 43, 44, 51, 52, 53, 61, 64.
- Nollet, Jean-Antoine** (1700-1770): físico francês. Pág. 27,30,32.
- Planck, Max Karl Ernst Ludwig** (1858-1947): físico alemão. Pág. 20, 49.
- Ptolomeu, Cláudio** (90-168): cientista grego. Pág. 24, 25, 35, 36, 37, 53, 64.
- Rembrandt, Harmenszoon van Rijn** (1606-1669): pintor holandês. Pág. 25.
- Röntgen, Wilhelm Conrad** (1845-1923): físico alemão. Pág. 47, 49, 64, 65.
- Smith, Adam** (1723 - 1790): economista e filósofo escocês. Pág. 25.
- Snel, Willebrord** (1580-1623): astrônomo e matemático holândes. Pág. 51.
- Snow, Charles Percy** (1905-1980): escritor e físico inglês. Pág. 19.
- Volta, Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio** (1745 - 1827): físico italiano. Pág. 32, 40.
- Watson, John Broadus** (1878-1958): psicólogo norte-americano. Pág. 27.
- Whitehead, Alfred North** (1861-1947): matemático e lógico britânico. Pág. 22.
- Wu, Chien Shiung** (1912-1997): física norte-americana. Pág. 39, 40.
- Young, Thomas** (1773-1829): cientista inglês. Pág. 35.